Iranian Journal of Pulses Research
Homepage: https://ijpr.um.ac.ir
Vol. 12, No. 2, December 2021, p. 214-228
Original Researc; DOI: 10.22067/ijpr.v12i2.2103-1006

پژوهش‌های حبوبات ایران
سال(دوره) ۱۲ شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوّم ۱۴۰۰
صفحهٔ ۲۲۸-۲۱۴، نوع مقاله: پژوهشی

تجزیه پایداری برخی از ژنوتیپ‌های نخود (*Cicer arietinum* L.) با شاخص‌ها و نمودارهای روش امی

رحمت‌الله کریمی‌زاده[1]، پیام پزشک‌پور[2]، محمد برزعلی[3]، محمد آرمیون[4] و پیمان شریفی[5]*

۱- استادیار پژوهش، عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گچساران، ایران؛ r.karimizadeh@areeo.ac.ir

۲- استادیار پژوهش، عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران؛ papezeshkpour@yahoo.com

۳- استادیار پژوهش، عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گنبد، ایران؛ barzali@hotmail.com

۴- استادیار پژوهش، عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران؛ amir.mirzaei53@gmail.com

۵- دانشیار و عضو هیئت علمی گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت، رشت، ایران

تاریخ‌ها:
دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۱، بازنگری: ۱۴۰۰/۰۵/۰۷، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۱؛ انتشار آنلاین مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۰۱

نحوه ارجاع به مقاله:
کریمی‌زاده، ر.، پزشک‌پور، پ.، برزعلی، م.، آرمیون، م.، و شریفی، پ. ۱۴۰۰. تجزیه پایداری برخی از ژنوتیپ‌های نخود (*Cicer arietinum* L.) با شاخص‌ها و نمودارهای روش امی. پژوهش‌های حبوبات ایران ۱۲(۲): ۲۲۸-۲۱۴.

چکیده

در این پژوهش، ۱۸ژنوتیپ امیدبخش نخود به‌همراه ارقام آرمان و آزاد در گچساران، گنبد، خرم‌آباد و ایلام در سه سال زراعی، به‌منظور دستیابی به ارقام پُرمحصول و سازگار با مناطق دیم گرمسیری و نیمه‌گرمسیری کشور کشت شدند. تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط، با توجیه ۷۹/۲، ۲/۴ و ۱۰/۰ درصد از تغییرات مجموع مربعات کل عملکرد دانه معنی‌دار بود. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که پنج مؤلفه اصلی اول از برهمکنش ژنوتیپ در محیط بر عملکرد دانه معنی‌دار بودند و سهم دو مؤلفه اصلی نخست برابر با ۴۲/۵درصد و ۱۹/۴درصد بود. ژنوتیپ۳ بیشترین عملکرد دانه را داشت (۱۶۶۳ کیلوگرم در هکتار). بر پایه شاخص‌های ASV و WAAS، ژنوتیپ‌های ۳، ۴ و ۱۳؛ شاخص‌های EV و ZA، ژنوتیپ‌های ۳، ۱۴، ۱۶ و ۸؛ و شاخص SIPC، ژنوتیپ‌های ۱۴، ۳، ۱۱، ۴ و ۱۶ پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. شاخص انتخاب همزمان (ssi)، برترین ژنوتیپ‌ها را بر پایه ssiASV، ssiZA و ssiWAAS، ژنوتیپ‌های ۳، ۱، ۴، ۱۳ و ۱۶ و بر اساس شاخص‌های ssiSIPC و ssiEV، ژنوتیپ‌های ۳، ۱۶ و ۲۰ شناساند. در بای‌پلات AMMI1، ژنوتیپ‌های ۱، ۳، ۱۷ و ۱۳ با میانگین بیشتر از میانگین کل و کمترین مقادیر IPCA1، ژنوتیپ‌های پایدار و پُرمحصول بودند. در بای‌پلات AMMI2، ژنوتیپ‌های ۴، ۳، ۱۳، ۱ و ۱۰ پایداری عمومی بالایی داشتند. در مجموع، برپایه شاخص‌های مختلف، ژنوتیپ‌های ۳، ۱ و ۱۳ در بسیاری از محیط‌ها دارای عملکرد بالا و در بیشتر روش‌ها دارای پایداری مطلوبی بودند و می‌توانند نامزد معرفی ارقام جدید باشند.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات؛ برهمکنش ژنوتیپ در محیط؛ سازگاری؛ عملکرد؛ مؤلفه‌های اصلی

مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L.) یکی از گیاهان گروه حبوبات، نقش مهمی در تأمین نیازهای غذایی انسان دارد که به صورت دیم در مناطق غرب آسیا و شمال آفریقا کشت می‌شود و با استفاده از رطوبت ذخیره‌شده در خاک، چرخه زیستی خود را تکمیل می‌کند. از عوامل عمده کاهش عملکرد آن می‌توان از توزیع نامناسب بارندگی و کاهش بارندگی یاد کرد (Bagheri *et al.*, 1997). در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷،

* نویسنده مسئول: sharifi@iaurasht.ac.ir

ایران با سطح زیرکشت ۴۵۶۴۰۴ هکتار، ۲۰۰۶۷۹ تن محصول با عملکرد ۴۴۰ کیلوگرم در هکتار تولید کرد که ۳/۳۲ درصد از سطح زیرکشت و ۱/۴۱ درصد از تولید جهانی را داشت (FAO, 2019). انجام پژوهش‌هایی برای دستیابی به ارقام جدید نخود که در مقایسه با ارقام موجود دارای پتانسیل عملکرد بیشتر، سازگاری گسترده‌تر و پایداری عملکرد بالاتری باشند، از اهمیت زیادی برخوردار است.

پدیده برهمکنش ژنوتیپ×محیط از ارزش ویژه‌ای نزد دانشمندان علوم ژنتیک و به‌نژادی گیاهان زراعی برخوردار است و آگاهی از آن، به‌نژادگران گیاهی را کمک می‌کند تا ارزیابی ژنوتیپ‌ها را با دقت بیشتری انجام داده و بهترین ژنوتیپ‌ها را شناسایی کنند (Sharifi *et al.*, 2017). روش‌های زیادی برای تجزیه برهمکنش ژنوتیپ×محیط و ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها ارائه شده است که یکی از آن‌ها، روش چندمتغیره اثرات اصلی جمع‌پذیر و اثرات متقابل ضرب‌پذیر (AMMI) است که در آن، ابتدا تجزیه واریانس معمولی بر روی داده‌های دوطرفه عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف انجام می‌شود و سپس با روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA)، برهمکنش ژنوتیپ در محیط تحلیل و بررسی می‌شود و مؤلفه‌های اصلی (PC) و سهم هر کدام از آن‌ها در برهمکنش ژنوتیپ×محیط محاسبه می‌شوند (Gauch, 1988).

پژوهش‌هایی برای ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ در محیط و تجزیه پایداری با استفاده از شاخص‌های مختلف AMMI در نخود انجام شده است. Zali *et al*, (2008) با ارزیابی ۱۷ لاین و ژنوتیپ نخود در پنج مکان و دو سال زراعی نشان دادند که چهار مؤلفه اصلی اول ۹۴درصد از برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توجیه می‌کرد و بر اساس بای‌پلات AMMI2، سه ژنویپ پایدار را شناسایی کردند. Kanouni *et al*, (2016) با ارزیابی ۱۴لاین و رقم نخود در چهار ایستگاه و به مدت سه سال زراعی در شرایط دیم، اثرات معنی‌دار محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط را بر عملکرد دانه نشان دادند. Zali *et al*, (2009) برای ارزیابی تجزیه پایداری ژنوتیپ‌های نخود پارامترهای ضریب تغییرات، واریانس محیطی، اکووالانس ریک، واریانس شوکلا، انحراف معیار رتبه، میانگین رتبه، روش گزینش همزمان و پارامتر ASV از مدل AMMI را به کار گرفتند و چنین نتیجه گرفتند که پارامتر ASV به دلیل سادگی تفسیر و توجیه بالای دو مؤلفه اصلی اول، روش مناسبی در تجزیه پایداری نسبت به سایر روش‌ها به‌شمار می‌آید. در تحقیقی دیگر، اثر معنی‌دار ژنوتیپ، محیط و برهمکنش ژنوتیپ در محیط و سه مؤلفه اصلی اول در برهمکنش ژنوتیپ در محیط در نخود گزارش شد (Erdemci, 2018). Danyali *et al*, (2012) با ارزیابی ۱۷ژنوتیپ نخود در ۱۶محیط نشان دادند که دو مؤلفه اصلی اول و دوم به‌ترتیب ۴۷/۴۹ و ۲۵/۲۵ درصد از برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توجیه می‌کردند و با توجه به معنی‌داربودن پنج مؤلفه اصلی اول، از شاخص‌های SIPC1، SIPCV و ASV برای ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌های نخود بهره گرفتند. Pouresmael *et al*, (2018) با ارزیابی ۱۵ژنوتیپ نخود در ۱۲محیط، اثر معنی‌دار پنج مؤلفه اصلی اول را در برهمکنش ژنوتیپ در محیط نشان دادند و با پارامترهای ASV، SUI (Sustainability Index) و GSI (Genotype Selection Index) ژنوتیپ‌های پایدار را شناسایی کردند. در آزمایشی دیگر (Zali *et al.*, 2012) پژوهشگران با ارزیابی ۱۷ژنوتیپ نخود در ۱۰محیط (ترکیب سال و مکان) نشان دادند که چهار مؤلفه اصلی اول با اثر معنی‌دار، حدود ۹۴ درصد از برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توجیه می‌کردند. ایشان از شاخص‌های SIPC4، EV4، MASV، Dz4، (AMGE) AV، (AMMI) Wi، FAi، ASV، Da4، Bi و Za4 برای ارزیابی پایداری ژنوتیپ‌ها استفاده کردند. در پژوهشی (Kanouni *et al.*, 2015)، محققان با ارزیابی ۱۴ژنوتیپ نخود در چهار مکان و سه سال زراعی نشان دادند که سهم محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط بر مجموع مربعات کل به‌ترتیب ۸۲/۲، ۴/۶ و ۱۳/۱درصد بود. ایشان همچنین نشان دادند که چهار مؤلفه اصلی اول با اثر معنی‌دار، ۸۶/۸درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توجیه می‌کردند و با استفاده از بای‌پلات‌های AMMI و شاخص ASV ژنوتیپ‌های پایدار را شناسایی کردند. پژوهشگری (Kizilgeci, 2018) با ارزیابی ۱۹ ژنوتیپ نخود در چهار محیط و دو سال زراعی اثر معنی‌دار محیط و برهمکنش ژنوتیپ در محیط را مشاهده کرد و با روش‌های پارامتری، پایداری ژنوتیپ‌ها را سنجید.

در یک بررسی (Hajivand *et al.*, 2020) پژوهشگران اثر معنی‌دار مکان، سال×مکان، ژنوتیپ، ژنوتیپ در مکان و ژنوتیپ×مکان×سال را در نخود گزارش کردند و با روش بای‌پلات، ژنوتیپ‌های پایدار را شناسایی کردند. در دو پژوهش دیگر (Hasan & Deb, 2017; Azam *et al.*, 2020) نیز محققان پس از مشاهده اثر معنی‌دار ژنوتیپ، محیط و

برهمکنش ژنوتیپ در محیط، ژنوتیپ‌های پایدار نخود را با روش‌های پارامتری شناسایی کردند.

هدف از این پژوهش، دستیابی به ارقام نخود پُرمحصول و سازگار با شرایط آب و هوایی مناطق دیم گرمسیری و نیمه‌گرمسیری کشور با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر روش تجزیه AMMI است.

مواد و روش‌ها

تعداد ۱۸ژنوتیپ پیشرفته نخود گزینش‌شده از آزمایش‌های پیشرفته مقایسه عملکرد به‌همراه ارقام شاهد آرمان و آزاد (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و چهار منطقه گچساران، گنبد، خرم‌آباد و ایلام به‌مدت سه سال زراعی (۱۳۹۲-۱۳۸۹) و در کرت‌هایی به طول پنج متر و عرض یک متر بر روی پنج خط با فاصله ۲۵سانتی‌متر و تراکم ۵۰دانه در مترمربع کشت شدند. توضیح این که این چهار ناحیه از مناطق دیم گرمسیری و نیمه‌گرمسیری کشور هستند که ایستگاه‌های اصلی مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور برای انجام پژوهش در گیاهان دیم در آنجا واقع گردیده‌اند. این مناطق به‌عنوان نمونه‌ای از مناطق زیرکشت نخود در ایران از نظر طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع و دیگر ویژگی‌های آب و هوایی متفاوت هستند و بنابراین هر کدام نماینده اقلیم گرم با شدت و ضعف در ویژگی‌های آب و هوایی هستند.

خاک مزرعه با گاوآهن شخم زده شد و با دیسک نرم گردید. ویژگی‌های جغرافیایی و بافت خاک در جدول ۲ و میزان بارندگی سالانه مناطق اجرای آزمایش در جدول ۳ نشان داده شده است. کود شیمیایی به اندازه ۱۰۰کیلوگرم فسفات آمونیوم و ۳۵کیلوگرم اوره، به هنگام عملیات تهیه زمین، به‌طور یکنواخت با خاک مخلوط گردید. عملیات داشت مطابق با عرف منطقه در طول فصل زراعی اعمال گردید و پس از برداشت، عملکرد دانه اندازه‌گیری شد و در محاسبات آماری استفاده شد.

جدول ۱- نام و منشأ ژنوتیپ‌های نخود

Table 1. Name and origin of chickpea genotypes

کد No.	نام Name	منشأ Origin
1	FLIP 03-71C	ICARDA
2	FLIP 03-64C	ICARDA
3	FLIP 98-106C	ICARDA
4	FLIP 00-40C	ICARDA
5	FLIP 99-66C	ICARDA
6	FLIP 00-21C	ICARDA
7	FLIP 99-34C	ICARDA
8	FLIP 01-32C	ICARDA
9	FLIP 01-50C	ICARDA
10	FLIP 01-52C	ICARDA
11	Flip 97-120C	ICARDA
12	FLIP 03-71C	ICARDA
13	FLIP 03-135C	ICARDA
14	FLIP 03-152C	ICARDA
15	FLIP 04-18C	ICARDA
16	FLIP 82-150C	ICARDA
17	FLIP 88-85C	ICARDA
18	FLIP 93-93C	ICARDA
19	ARMAN	IRAN
20	AZAD	IRAN

جدول ۲- ویژگی‌های جغرافیایی و بافت خاک در مناطق اجرای آزمایش

Table 2. Geographic characteristics and soil texture of trials area

مکان Location	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude (m)	عرض جغرافیایی Longitude	طول جغرافیایی Latitude	بافت خاک Soil texture	متوسط میزان بارندگی (میلی‌متر) Average rainfall (mm)
گچساران Gachsaran	710	50°.50' E	30°.17' N	لوم-رسی-سیلتی silty clay loam	450
گنبد Gonbad	45	55°.12' E	37°.16' N	لوم-رسی-سیلتی silty clay loam	550
ایلام Ilam	975	46°.36' E	33°.47' N	لومی-رسی clay-loam	350
خرم‌آباد Khoramabad	1147	48°.18' E	33°.29' N	لومی-سیلتی silty-loam	445

تجزیه‌های آماری

تجزیه‌های آماری با بسته تجزیه آزمایش‌های چندمحیطی (Multi environment trial analysis) با نام metan در نرم‌افزارR انجام شد (Olivoto & Lúcio, 2020). روابط مربوط به پارامترهای تجزیه AMMI در جدول ۴ نشان داده شده است.

نسبت $SSIPC1/SSIPC2$ در رابطه ۱، وزن ویژه شده برای مؤلفه اصلی نخست (IPC1) است که از تقسیم مجموع مربعات IPC1 بر مجموع مربعات IPC2 (محور مؤلفه اصلی دوم) به دست آمده است. در رابطه ۲، λ_n، ریشه مشخصه IPC در nاُمین محور است که برای SIPC1 وSIPCF به‌ترتیب برابر با ۱ و تعداد مؤلفه‌های اصلی باقیمانده در مدل است. در رابطه‌های ۳ و ۴، γ_{in}، ریشه مشخصه nاُمین محور و N (N' در رابطه ۴)، تعداد مؤلفه‌های اصلی معنی‌دارشده در تجزیه واریانس AMMI با آزمونF است. در رابطه ۴، درصد مجموع مربعات توجیه‌شده به‌وسیله nاُمین محور IPC با θn نشان داده شده است. در تمام این رابطه‌ها، پایدارترین ژنوتیپ‌ها، دارای کمترین مقادیر این شاخص‌ها هستند.

در رابطه ۵، شاخص گزینش همزمان، حاصل جمع رتبه ژنوتیپ‌ها بر پایه هرکدام از شاخص‌های پایداری AMMI [R(AMMI stability Indices)] و رتبه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در تمام محیط‌ها (RY) است.

در رابطه ۶، $IPCA_{ik}$ نمره ژنوتیپ iاُم در kاُمین محور مؤلفه اصلی برهمکنش (IPCA) و EP_k، واریانس توجیه‌شده توسط kاُمین IPCA است. ژنوتیپ با کمترین مقدار WAAS، پایدار در نظر گرفته می‌شود (Olivoto *et al.*, 2019).

نمودارهای بای‌پلات نوع اول (IPCA1 *vs* grain yield)AMMI1 و نوع دوم (IPCA1 *vs* IPCA2)AMMI2 با روش استاندارد توضیح داده شده توسط Zobel *et al*, (1988) با بسته metan رسم شدند.

جدول ۳- میزان بارندگی سالانه مناطق اجرای آزمایش در طول فصل زراعی در سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۲

Table 3. Annual percipitation of test areas during the cropping season in 2010-2013

مکان Location	سال زراعی Cropping season		
	۱۳۹۰-۱۳۸۹ 2010-2011	۱۳۹۱-۱۳۹۰ 2011-2012	۱۳۹۲-۱۳۹۱ 2012-2013
گچساران Gachsaran	417.1 (E1)	420.6 (E5)	503.7 (E9)
خرم‌آباد Khoramabad	364.2 (E2)	294.1 (E6)	363.6 (E10)
گنبد Gonbad	279.7 (E3)	476.1 (E7)	-
ایلام Ilam	171.5 (E4)	329 (E8)	396.1 (E11)

جدول ۴- شاخص‌های تجزیه پایداری
Table 4. Stability analysis indices

شماره Code	شاخص Index	فرمول Furmula	رفرنس References
1	ارزش پایداری امی AMMI stability value (ASV)	$ASV=\sqrt{\left[\frac{SSIPC1}{SSIPC2}(IPC1)\right]^2+(IPC2)^2}$	Purchase *et al.*, 2000
2	مجموع نمره‌های محورهای مؤلفه‌ها Sum of IPCs scores (SIPC)	$SIPC=\sum_{n=1}^{N}\lambda_n^{0.5}\gamma_{in}$	Sneller *et al.*, 1997
3	مقدار ویژه پارامتر پایداری AMMI Eigenvalue (EV) stability parameter of AMMI	$EV=\sum_{n=1}^{N}\gamma_{in}^2/n$	Zobel *et al.*, 1988
4	قدرمطلق سهم نسبی IPC در برهمکنش Absolute value of the relative contribution of IPCs to the interaction (Za)	$Za_i=\sum_{n=1}^{N}\lvert\theta_n\gamma_{in}\rvert$	Zali *et al.*, 2012
5	شاخص انتخاب همزمان Simultaneous selection index (ssi)	SSI = R(AMMI stability Indices) + RY	Farshadfar, 2008
6	میانگین وزنی نمرات مطلق Weighted average of absolute scores (WASS)	$WAAS_i=\frac{\sum_{k=1}^{p}\lvert IPCA_{ik}\times EP_k\rvert}{\sum_{k=1}^{p}EP_k}$	Olivoto *et al.*, 2019

نتایج و بحث

تجزیه واریانس

تجزیه واریانس ساده برای هر یک از محیط‌ها (ترکیب سال و مکان) نشان داد که اثر ژنوتیپ در ۱۰محیط از ۱۱محیط مطالعه‌شده، معنی‌دار بود و فقط در محیط نهم (گچساران، سال سوم آزمایش) معنی‌دار نبود. این نتیجه، گویای پراکندگی مواد آزمایشی (ژنوتیپ‌ها) و در نتیجه مناسب بودن آن‌ها برای تجزیه‌های بعدی است. ضریب تغییرات از ۷/۵ درصد در محیط پنجم (گچساران، سال دوم) تا ۲۲/۵۵درصد در محیط یازدهم (ایلام، سال سوم) متغیر بود (جدول ۵). میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها نیز در محیط‌های مطالعه‌شده از ۵۵۳ کیلوگرم در هکتار در محیط هشتم (ایلام، سال دوم) تا ۲۳۶۲ کیلوگرم در هکتار در محیط هفتم (گنبد، سال دوم) متغیر بود. در محیط هفتم، پراکنش مناسب بارندگی در طول فصل زراعی به‌ویژه در مراحل گل‌دهی (اواخر اسفند تا اواخر فروردین) و پُرشدن دانه (اواخر فروردین تا اواسط اردیبهشت) موجب شد تا سال خوبی برای ارزیابی لاین‌ها باشد و کمترین تنش خشکی در فصل رشد گیاه دیده شد. عملکرد در محیط ششم (خرم‌آباد، سال دوم) نیز پایین (۸۷۴ کیلوگرم در هکتار) بود که به نظر می‌رسد ناشی از کاهش شدید بارندگی و همچنین توزیع نامناسب بارش‌ها در این محیط بود.

تجزیه واریانس AMMI

آزمون یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی با آزمون بارتلت (χ^2=15.5, P-value=0.1009)، نشانگر یکنواختی واریانس‌ها بود و بنابراین بدون حذف داده‌های هیچ‌کدام از محیط‌ها، تجزیه مرکب انجام شد. اثر محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط بر عملکرد دانه در سطح احتمال ۱درصد معنی‌دار بود، به‌طوری‌که این سه جزء سهم ۷۹/۲، ۲/۴ و ۱۰/۰ درصدی در مجموع مربعات کل داشتند (جدول ۶). در تطابق با این نتیجه، Zali *et al*, (2008) نشان دادند که محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط به‌ترتیب ۸۱/۶۲، ۱/۶۷ و ۱۶/۷۱ درصد از مجموع مربعات کل را توجیه می‌کرد. همچنین محققان (Kanouni *et al*., 2016)، سهم ۷۰/۶۱، ۳/۲۰، ۱۱/۲۱ درصدی محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط را بر عملکرد دانه نخود گزارش کردند.

Erdemci (2018) نیز نشان داد که سهم محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط به‌ترتیب ۶۷/۵۸، ۶/۱۷ و ۱۵/۲۵ درصد از مجموع مربعات کل بود. در پژوهشی (Pouresmael *et al.*, 2018)، سهم ۴۴/۲۴، ۴/۸۳ و ۲۸/۹۳ درصدی ژنوتیپ، محیط و برهمکنش ژنوتیپ در محیط بر عملکرد دانه نخود گزارش گردید. محققان دیگر (Kanouni *et al.*, 2015) نیز نشان دادند که سهم محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط بر مجموع مربعات کل عملکرد دانه ژنوتیپ‌های نخود به‌ترتیب ۸۲/۲، ۴/۶ و ۱۳/۱ درصد بود.

جدول ۵- تجزیه واریانس ساده عملکرد دانه ژنوتیپ‌های نخود در هر کدام از محیط‌ها

Table 5. Simple analysis of variance of seed yield of

محیط Environment	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (Kg Ha^{-1})	میانگن مربعات بلوک MSB	میانگن مربعات ژنوتیپ MSG	میانگن مربعات خطای آزمایشی MSE	ضریب تغییرات CV
1	1309	403000**	56100**	20700	10.99
2	1851	421000**	119000**	25000	8.54
3	1688	21.4^{ns}	327000**	27300	9.79
4	1054	24400^{ns}	435000**	34000	17.49
5	1753	223000**	50600**	17300	7.50
6	874	68100^{ns}	97700**	26500	18.63
7	2335	445000**	180000**	27000	7.04
8	553	1090^{ns}	41800**	10900	18.88
9	1436	206000**	19000^{ns}	30400	12.14
10	2362	315000**	498000**	23400	6.48
11	711	18200^{ns}	49500*	25700	22.55

ns، * و **: غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵درصد و ۱ درصد

ns, *, **: Non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

اثر معنی‌دار ژنوتیپ، تفاوت عملکرد ژنوتیپ‌ها را نشان می‌دهد که در تجزیه‌های جداگانه هم، چنین نتایجی دیده شده بود و بیانگر پیش‌زمینه ژنتیکی مواد آزمایشی است. اثر معنی‌دار محیط، نشانه‌ای از تأثیر متفاوت مکان‌های آزمایشی و سال‌های زراعی بر عملکرد است؛ حال آن که، اثر معنی‌دار برهمکنش ژنوتیپ×محیط بیانگر نوسان عملکرد ژنویپ‌ها در محیط‌های آزمایشی است که می‌تواند برآمده از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، طول و عرض جغرافیایی، دگرگونی‌های آب و هوایی و ... باشد (Hajivand *et al.*, 2020). سهم بیشتر اثر محیط در توجیه مجموع مربعات کل، نشان‌دهنده دامنه گسترده‌تر اثرات اصلی محیط و به بیانی دیگر تفاوت بین محیط‌ها است که دلیل این تفاوت می‌تواند ناشی از میزان و پراکنش بارندگی در طول سال‌ها و مکان‌های انجام آزمایش و همچنین تفاوت در توزیع ماهانه بارندگی در دوره‌های مختلف رشدی گیاه باشد. سهم بیشتر برهمکنش ژنوتیپ در محیط می‌تواند به واکنش‌های متفاوت ژنوتیپ‌ها به عوامل جغرافیایی و اقلیمی نسبت داده شود. بنابراین با توجه به نوسان عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف و برهمکنش معنی‌دار بین محیط و ژنوتیپ، نتیجه‌گیری و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر بر اساس نتایج تجزیه مرکب و مقایسه میانگین عملکرد دانه کافی نیست و باید برای تعیین اندازه پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها و افزایش بازده گزینش ژنوتیپ‌ها و شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار یا سازگار به مناطق، روش‌های مختلف تجزیه پایداری را به کار بست. با توجه به دریافت لاین‌های پیشرفته از یک برنامه به‌نژادی در مرکز بین‌المللی پژوهش کشاورزی در مناطق خشک (ICARDA)[۱]، این ژنوتیپ‌ها در آزمایش‌های چندمحیطی در مقایسه با محیط و برهمکنش ژنوتیپ×محیط نقش کمتری در توجیه تنوع کل داشتند. در بسیاری از پژوهش‌ها اثر محیط بسیار بزرگ و قابل بهره‌برداری نیست و از آن‌جا که تنها اثر ژنوتیپ و ژنوتیپ×محیط است که در گزینش ژنوتیپ‌های پایدار اهمیت دارند، لذا در این موارد بهتر است که اثر محیط حذف شود و بیشتر بر اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ×محیط تمرکز شود (Gauch *et al.*, 1996). برای رسیدن به چنین هدفی، می‌توان از روش‌های چندمتغیره مانند روش AMMI و روش GGE بای‌پلات استفاده کرد.

از آنجا که برهمکنش ژنوتیپ در محیط معنی‌دار بود، تجزیه پایداری با استفاده از شاخص‌های AMMI انجام شد. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که چهار مؤلفه اصلی نخست در سطح احتمال ۱درصد و مؤلفه اصلی پنجم در سطح احتمال ۵درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود و این پنج مؤلفه در مجموع ۹۰/۸ درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ در

---

۱. International Center for Agricultural Research in the Dry Arreas (ICARDA)

محیط را بر عملکرد دانه توجیه کردند، به‌طوری‌که سهم دو مؤلفه اصلی نخست به‌ترتیب برابر با ۴۲/۵درصد و ۱۹/۴درصد بود (جدول ۶). در تطابق با این نتیجه، پژوهشگران دیگری نیز سهم ۴۳/۰۹ و ۲۳/۳۴درصدی (Kanouni *et al.*, 2016)، ۴۸ و ۲۸درصدی (Zali *et al.*, 2008) و ۴۷/۴۹ و ۲۵/۲۵درصدی (Danyali *et al.*, 2012) دو مؤلفه اصلی اول و دوم را در برهمکنش ژنوتیپ در محیط بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌های نخود نشان داده‌اند و با کشیدن نمودارهای بای‌پلات، ژنوتیپ‌های مناسب برای هر ناحیه و همچنین لاین‌های دارای سازگاری عمومی را شناسایی نموده‌اند. همچنین با توجه به اثر کاهنده برهمکنش ژنوتیپ در محیط بر پیشرفت ناشی از گزینش، تلفیق پایداری با عملکرد می‌تواند به نتایج مناسبی در گزینش ژنوتیپ‌ها بینجامد، از این‌رو شاخص انتخاب همزمان (Farshadfar, 2008) به‌کار برده شد.

جدول ۶- تجزیه واریانس مرکب روش امی برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های نخود
Table 6. AMMI analysis of variance for seed yield of chickpea genotypes

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	مجموع مربعات Sum square	میانگین مربعات Mean square	درصد Percent
محیط ENV	10	226909632	22690963**	79.2
خطای محیط REP(ENV)	22	4213610	191528	
ژنوتیپ GEN	19	6873836	361781**	2.4
ژنوتیپ×محیط Gen×Env	190	28732495	151224**	10.0
مؤلفه اصلی اول PC1	28	12208013	436000**	42.5
مؤلفه اصلی دوم PC2	26	5582662	214718**	19.4
مؤلفه اصلی سوم PC3	24	4058045	169085**	14.1
مؤلفه اصلی چهارم PC4	22	2572514	116932**	9
مؤلفه اصلی پنجم PC5	20	1663631	83182*	5.8
مؤلفه اصلی ششم PC6	18	950796	52822 ^{ns}	3.3
مؤلفه اصلی هفتم PC7	16	903208	56450 ^{ns}	3.1
مؤلفه اصلی هشتم PC8	14	490762	35054 ^{ns}	1.7
مؤلفه اصلی نهم PC9	12	189963	15830 ^{ns}	0.7
مؤلفه اصلی دهم PC10	10	112902	11290 ^{ns}	0.4
خطای آزمایشی Residuals	418	19791356	47348	.
کل Total	659	286520929.	434781	.

ns، * و **: غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

PC: Principal component
ns, *, **: Non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

شاخص‌های پایداری AMMI و شاخص انتخاب همزمان (Simultaneous selection index, ssi)

ژنوتیپ۳ با ۱۶۶۳ کیلوگرم در هکتار و در پی آن، ژنوتیپ‌های ۱، ۱۷، ۲۰ و ۵ بیشترین عملکرد دانه را داشتند (جدول ۷). شاخص پایداری ASV، که یکی از شاخص‌های پُرکاربرد در تجزیه پایداری به روش AMMI است، ژنوتیپ‌های۳، ۴، ۱۰، ۱۳ و ۹ را با کمترین نمره، به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ‌ها شناساند. پژوهشگران دیگری نیز از این

شاخص برای ارزیابی تجزیه پایداری ژنوتیپ‌های نخود بهره گرفته‌اند (Zali *et al.*, 2009; Danyali *et al.*, 2012; Zali *et al.*, 2012; Kanouni *et al.*, 2015; Pouresmael *et al.*, 2018). بر اساس شاخص SIPC، ژنوتیپ‌های ۱۴، ۳، ۱۱، ۴ و ۱۶؛ شاخص EV، ژنوتیپ‌های ۱۴، ۳، ۱۱، ۸ و ۱۶؛ شاخص ZA، ژنوتیپ‌های ۴، ۳، ۱۴، ۱۶ و ۸؛ و شاخص WAAS، ژنوتیپ‌های ۴، ۳، ۱۶، ۱۴ و ۱۳ پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۷). شاخص‌های SIPC، ZA و EV در پژوهش‌های دیگری نیز برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار نخود به‌کار گرفته شده است (Zali *et al.*, 2009; Zali *et al.*, 2012; Kanouni *et al.*, 2015; Pouresmael *et al.*, 2018). از آنجا که در محاسبه شاخص WAAS، همه مؤلفه‌های اصلی معنی‌دار به‌کار گرفته شده‌اند، این شاخص نسبت به شاخص‌های دیگر AMMI، دارای برتری است و چنین می‌نمایاند که ژنوتیپ پایدار شناسایی‌شده با آن، از اعتبار بیشتری برخوردار است (Olivoto *et al.*, 2019a). گزارش‌های اندکی از کاربرد این شاخص برای شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار در گیاهان زراعی، ازجمله در عدس (Karimizadeh *et al.*, 2020) و برنج (Sharifi *et al.*, 2021) در دسترس است.

انتخاب ژنوتیپ‌های برتر با هر کدام از شاخص‌های پایداری بالا، فقط بر پایه جنبه پایداری ژنوتیپ‌ها و بدون درنظرگرفتن عملکرد دانه است، به همین دلیل ژنوتیپ‌های ۸، ۹، ۱۰ و ۱۴ با عملکردی کمتر از متوسط عملکرد ژنوتیپ‌ها در کل محیط‌ها (۱۴۴۷/۷۵ کیلوگرم در هکتار) به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار گزینش شده‌اند (جدول ۷). برای پرهیز از گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد پایین به‌عنوان ژنوتیپ برتر، شاخص انتخاب همزمان (ssi) بر پایه هر کدام از شاخص‌های پایداری پیشنهاد شده است (Farshadfar, 2008) که در آن به هر دو جنبه پایداری و عملکرد دانه توجه شده است. بر پایه شاخص انتخاب همزمان ssiASV، ژنوتیپ‌های ۳، ۱، ۴، ۱۳ و ۱۶؛ شاخص ssiSIPC، ژنوتیپ‌های ۳، ۴، ۱۶ و ۲۰؛ شاخص ssiEV، ژنوتیپ‌های ۳، ۱۶، ۱۷ و ۲۰؛ شاخص ssiZA، ژنوتیپ‌های ۳، ۴، ۱۶، ۱۳ و ۱؛ و شاخص ssiWAAS، ژنوتیپ‌های ۳، ۴، ۱۳، ۱۶ و ۱ برترین ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۷). مزیت آماره‌های ssi این است که در برآورد آن‌ها به هر دو جنبه پایداری و متوسط عملکرد یک ژنوتیپ توجه شده است و با این شاخص‌ها امکان گزینش ژنوتیپ‌های پایدار، اما با عملکرد پایین کاهش می‌یابد (Farshadfar, 2008). همانند این پژوهش، روش گزینش همزمان برای عملکرد و پایداری در نخود (Zali *et al.*, 2009) برای تعیین پایداری ژنوتیپ‌ها استفاده شده است. از دیگر کاربردهای تجزیه پایداری AMMI، انتخاب چهار ژنوتیپ برتر از نظر عملکرد و پایداری در هر کدام از محیط‌ها است. بر این اساس، ژنوتیپ۳ در محیط‌های ۱، ۵ و ۷ در رتبه نخست؛ در محیط‌های ۲، ۳ و ۹، در رتبه دوم؛ در محیط‌های ۶ و ۸ در رتبه سوم؛ و در محیط۵ در رتبه چهارم قرار گرفت، بنابراین به‌عنوان پایدارترین ژنوتیپ در این روش انتخاب شد. همچنین ژنوتیپ‌های ۱۷ و ۱، هر کدام به‌ترتیب در ۸ و ۶ محیط، جزء چهار ژنوتیپ برتر بودند و می‌توانند در اولویت‌های بعدی قرار گیرند (جدول ۸).

تفسیر بای‌پلات

در بای‌پلات نوع اول AMMI که در محور افقی و عمودی آن به‌ترتیب عملکرد دانه و نخستین مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتپ در محیط (IPC1) جای می‌گیرد، ژنوتیپ‌های پایدار بر پایه بزرگی و کوچکی ضرایب در این مؤلفه اصلی، شناسایی می‌شوند. در این نمودار، ژنوتیپ‌های دارای ضرایب بزرگ (مثبت یا منفی)، برهمکنش بالایی با محیط دارند، حال آن‌که ژنوتیپ‌ها و محیط‌های دارای ضرایب کوچک، برهمکنش پایینی دارند. بر این اساس، ژنوتیپ‌های ۱۸، ۹، ۶، ۱۷، ۱، ۳، ۱۶، ۴، ۱۳ و ۱۰ با کمترین ضرایب در نخستین محور مؤلفه اصلی می‌توانند ژنوتیپ‌های پایداری در نظر گرفته شوند، اما فقط میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های ۱، ۳، ۱۷ و ۱۳ بیشتر از میانگین کل بود و می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر برگزیده شوند. از سوی دیگر، ارقام شاهد آرمان (ژنوتیپ ۱۹) و آزاد (ژنوتیپ ۲۰) و ژنوتیپ۵ واقع در دورترین مکان از مبدأ بای‌پلات، ژنوتیپ‌های ناپایداری از نظر عملکرد دانه در این پژوهش بودند (شکل ۱). از دیگر کاربردهای این نوع بای‌پلات، شناسایی سهم محیط‌ها در برهمکنش ژنوتیپ در محیط است که هر اندازه درازای بردار محیطی کمتر باشد، آن محیط سهم اندکی در برهمکنش ژنوتیپ در محیط دارد. بر این اساس محیط‌های۱ (گچساران، سال اول)، ۹ (گچساران، سال سوم)، ۵ (گچساران، سال دوم)، ۲ (خرم‌آباد، سال اول) و ۳ (ایلام، سال سوم) کمترین سهم را در برهمکنش ژنوتیپ در محیط داشتند (شکل ۱). از آن‌جا که نخستین محور مؤلفه اصلی فقط ۴۲/۵درصد از تغییرات برهمکنش ژنوتیپ در محیط را توجیه می‌کند، به‌نظر می‌رسد که برای دستیابی به نتایجی کارآمدتر، بهره‌گیری از بای‌پلات نوع دوم AMMI که بر پایه ضرایب دو مؤلفه اصلی نخست است، بهتر باشد.

جدول ۷- شاخص‌های پایداری، رتبه ژنوتیپ‌ها و شاخص انتخاب همزمان

Table 7. Stability indices, rank of genotypes and Simultaneous selection index (ssi)

ژنوتیپ Genotype	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (Kg ha^{-1})	ASV	SIPC	EV	ZA	WAAS	rY	rASV	rSIPC	rEV	rZA	rWAAS	ssiASV	ssiSIPC	ssiEV	ssiZA	ssiWAAS
G1	1585	13.4	39.5	0.0772	0.174	7.07	2	7	17	19	14	13	9	19	21	16	15
G2	1403	39.9	57	0.164	0.339	14.8	14	18	20	20	20	20	32	34	34	34	34
G3	1663	5.07	20.5	0.0192	0.0856	3.37	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3
G4	1438	5.56	20.9	0.0339	0.076	2.94	10	2	4	7	1	1	12	14	17	11	11
G5	1532	44.2	38.3	0.0675	0.255	11.8	5	20	16	15	19	19	25	21	20	24	24
G6	1422	15.6	33.5	0.0503	0.162	6.77	11	9	13	12	12	12	20	24	23	23	23
G7	1485	25.5	31.4	0.0375	0.182	8.08	8	15	9	9	15	16	23	17	17	23	24
G8	1317	18.1	23.2	0.0264	0.12	5.28	19	12	6	4	5	7	31	25	23	24	26
G9	1356	10.9	40.1	0.0717	0.16	6.15	18	5	19	18	10	9	23	37	36	28	27
G10	1221	7.28	33.2	0.0558	0.128	4.86	20	3	12	14	8	6	23	32	34	28	26
G11	1365	17.6	20.5	0.0192	0.121	5.41	17	11	3	3	6	8	28	20	20	23	25
G12	1405	19.5	26.5	0.0366	0.145	6.35	13	13	7	8	9	10	26	20	21	22	23
G13	1497	8.69	32.8	0.069	0.124	4.81	7	4	11	17	7	5	11	18	24	14	12
G14	1376	16.1	13.3	0.0073	0.0922	4.28	15	10	1	1	3	4	25	16	16	18	19
G15	1375	27.1	27.7	0.0273	0.171	7.76	16	16	8	6	13	14	32	24	22	29	30
G16	1455	12	22.7	0.0272	0.104	4.14	9	6	5	5	4	3	15	14	14	13	12
G17	1579	21	36.6	0.0524	0.184	7.83	3	14	15	13	16	15	17	18	16	19	18
G18	1413	15.2	33.8	0.0451	0.162	6.64	12	8	14	11	11	11	20	26	23	23	23
G19	1530	43.4	40.1	0.0688	0.251	11.5	6	19	18	16	18	18	25	24	22	24	24
G20	1538	37	32.5	0.0431	0.214	9.88	4	17	10	10	17	17	21	14	14	21	21

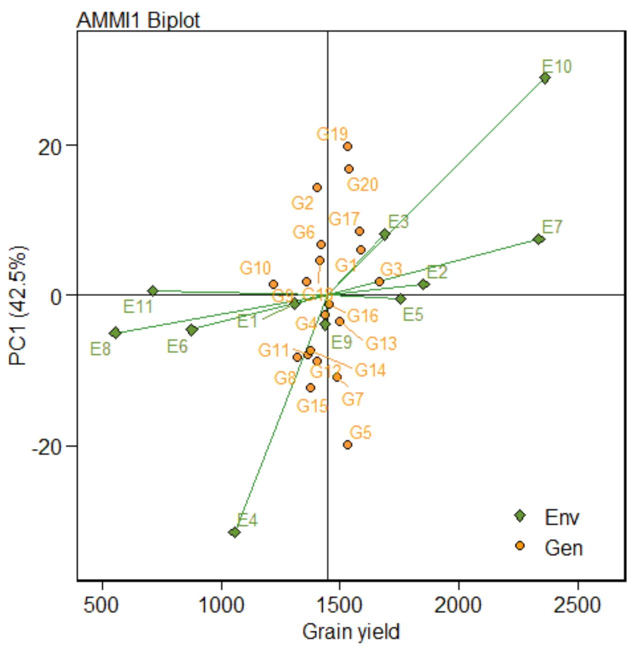
ASV: ارزش پایداری امی؛ SIPC: مجموع نمره‌های محورهای مؤلفه‌ها؛ EV: مقدار ویژه پارامتر پایداریAMMI؛ Za: قدرمطلق سهم نسبی IPC در برهمکنش؛ WASS: میانگین وزنی نمرات مطلق؛ rY: رتبه عملکرد دانه؛ rASV: رتبه شاخص ASV؛ rSIPC: رتبه شاخص SIPC؛ rEV: رتبه شاخص EV؛ rZA: رتبه شاخص ZA؛ rWAAS: رتبه شاخص WAAS؛ ssiASV: شاخص انتخاب همزمان شاخص ASV؛ ssiSIPC: شاخص انتخاب همزمان شاخص SIPC؛ ssiEV: شاخص انتخاب همزمان شاخص EV؛ ssiZA: شاخص انتخاب همزمان شاخص ZA؛ ssiWAAS: شاخص انتخاب همزمان شاخص WAAS؛

ASV: AMMI stability value; SIPC: Sum of IPCs scores; EV: Eigenvalue stability parameter of AMMI; Za: Absolute value of the relative contribution of IPCs to the interaction; WASS: Weighted average of absolute scores; rY: Rank of seed yield; rASV: Rank of ASV; rSIPC: Rank of SIPC; rEV: Rank of EV; rZA: Rank of ZA: rWAAS: Rank of WAAS; ssiASV: Simultaneous selection index of ASV; ssiSIPC: Simultaneous selection index of SIPC; ssiEV: Simultaneous selection index of EV: ssiZA: Simultaneous selection index of ZA; ssiWAAS: Simultaneous selection index of WAAS

جدول ۸- چهار ژنوتیپ انتخابی هر محیط توسط روش امی

Table 8. Four selected genotypes in any of environments by AMMI method

محیط Environment	عملکرد دانه Seed yield (kg ha^{-1})	امتیاز Score	رتبه اول First rank	رتبه دوم Second rank	رتبه سوم Third rank	رتبه چهارم Forth rank
محیط اول E1	1309	1.11	G3	G17	G1	G7
محیط دوم E2	1851	-1.453	G17	G3	G20	G16
محیط سوم E3	1688	-8.116	G1	G3	G19	G17
محیط چهارم E4	1054	31.525	G5	G7	G12	G3
محیط پنجم E5	1753	0.44	G3	G17	G13	G1
محیط ششم E6	874	4.589	G5	G17	G3	G16
محیط هفتم E7	2335	-7.504	G3	G17	G1	G9
محیط هشتم E8	553	4.994	G1	G7	G3	G5
محیط نهم E9	1436	3.884	G13	G3	G17	G16
محیط دهم E10	2362	-28.918	G19	G2	G20	G1
محیط یازدهم E11	711	-0.552	G2	G13	G17	G12



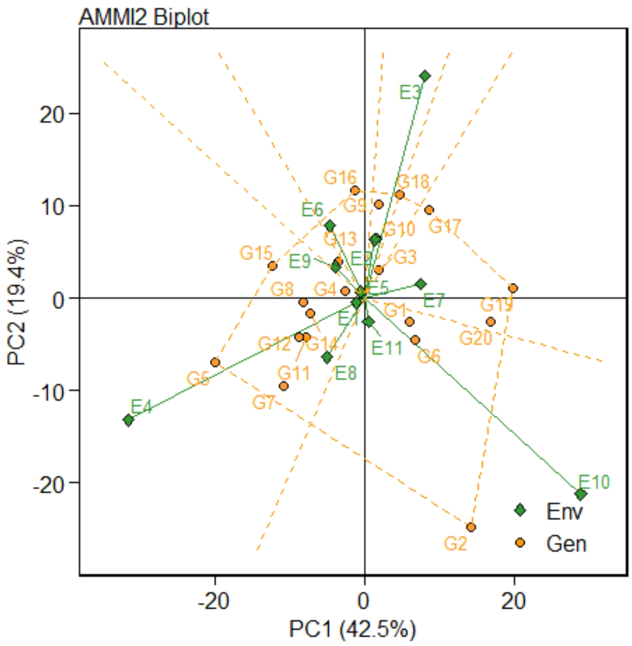
شکل ۱- بای‌پلات AMMI1 برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر نخود بر پایه میانگین عملکرد دانه و مؤلفه اصلی اول

Fig. 1. AMMI1 biplot for identity the superior chickpea genotypes based on seed yield mean and PC1

اسامی ژنوتیپ‌ها مطابق با جدول ۱ و اسامی محیط‌ها مطابق با جدول ۳ است.

The name of geonotypes and environments similar to table 1 and 3, respectively

در بای‌پلات نوع دوم که بر پایه دو مؤلفه اصلی اول (۴۲/۵درصد) و دوم (۱۹/۴درصد) کشیده شده است، ژنوتیپ‌های ۵، ۱۵، ۱۶، ۱۸، ۱۷، ۱۹ و ۲ بیشترین سهم را در برهمکنش ژنوتیپ در محیط داشتند و می‌توانند به‌عنوان ژنوتیپ‌هایی ناپایدار انگاشته شوند (شکل ۲). از ویژگی این نوع بای‌پلات این است که می‌تواند ژنوتیپ سازگار به هرکدام از محیط‌ها را شناسایی کند، به‌طوری‌که ژنوتیپ جای‌گرفته در رأس در هر بخش، بهترین ژنوتیپ برای محیط‌های واقع در آن بخش است (Yan *et al.*, 2000). بر این اساس ژنوتیپ ۱۶، بهترین ژنوتیپ برای محیط۶ (خرم‌آباد، سال دوم)؛ ژنوتیپ‌های ۱۸ و ۹، بهترین ژنوتیپ‌ها برای محیط۳ (گنبد، سال اول)؛ ژنوتیپ‌های ۱۹ و ۲۰، بهترین ژنوتیپ‌ها برای محیط۷ (گنبد، سال دوم)؛ ژنوتیپ۲، بهترین ژنوتیپ برای محیط ۱۰ (خرم‌آباد، سال سوم)؛ و ژنوتیپ‌های ۷ و ۵، بهترین ژنوتیپ برای محیط۴ (ایلام، سال اول) بودند. ژنوتیپ‌های ۴، ۳، ۱۳، ۱ و ۱۰ در مبدأ بای‌پلات، ژنوتیپ‌هایی با پایداری عمومی بالا شناخته شدند. این بای‌پلات همچنین نشان داد که محیط‌های ۳، ۴ و ۱۰ با بردارهای بلند، از توانایی جداکنندگی یا تمایز (Discriminating) بالایی برخوردار بودند و می‌توانند کارایی نسبی ژنوتیپ‌ها را به درستی برآورد کنند. حال آن‌که محیط‌های دیگر که درون چندضلعی جای داشتند و بردارهای کوتاه‌تری داشتند، کمترین توانایی جداکنندگی را بین ژنوتیپ‌ها داشتند و اطلاعات کمی درباره ژنوتیپ‌ها فراهم می‌آورند. در تطابق با یافته حاضر، پژوهشگران دیگری نیز با استفاده از روش بای‌پلات نوع دوم، ژنوتیپ‌های پایدار نخود را شناسایی کرده‌اند (Farshadfar *et al.*, 2011; Farshadfar *et al.*, 2013; Erdemci, 2018; Azam *et al.*, 2020).



شکل ۲- بای‌پلات AMMI2 برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر نخود بر پایه دو مؤلفه اصلی اول

Fig. 2. AMMI2 biplot for identity the superior chickpea genotypes based on first PCs

اسامی ژنوتیپ‌ها مطابق با جدول ۱ و اسامی محیط‌ها مطابق با جدول ۳ است.

The name of geonotypes and environments similar to table 1 and 3, respectively.

نتیجه‌گیری

با توجه به معنی‌داربودن اثر محیط، ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ در محیط و سهم ۷۹/۲، ۲/۴ و ۱۰/۰ درصدی آن‌ها در مجموع مربعات کل، تجزیه پایداری با شاخص‌ها و بای‌پلات‌های AMMI انجام شد. تجزیه واریانس AMMI نشان داد که پنج مؤلفه اصلی اول، اثر معنی‌داری در برهمکنش ژنوتیپ در محیط داشتند. ژنوتیپ۳ (۱۶۶۳ کیلوگرم در هکتار) بیشترین عملکرد دانه را داشت. بر اساس شاخص ASV، ژنوتیپ‌های ۳، ۴، ۱۰، ۱۳ و ۹؛ شاخص SIPC، ژنوتیپ‌های ۱۴، ۳، ۱۱، ۴ و ۱۶؛ شاخص EV، ژنوتیپ‌های ۱۴، ۳، ۱۱، ۸ و ۱۶؛ شاخص ZA،

ژنوتیپ‌های ۴، ۳، ۱۴، ۱۶ و ۸؛ و شاخص WAAS، ژنوتیپ‌های ۴، ۳، ۱۶، ۱۴ و ۱۳ پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. بر پایه شاخص انتخاب همزمان ssiASV، ژنوتیپ‌های ۳، ۱، ۴، ۱۳ و ۱۶؛ شاخص ssiSIPC، ژنوتیپ‌های ۳، ۴، ۱۶ و ۲۰؛ شاخص ssiEV، ژنوتیپ‌های ۳، ۱۶، ۱۷ و ۲۰؛ شاخص ssiZA، ژنوتیپ‌های ۳، ۴، ۱۶، ۱۳ و ۱؛ و شاخص ssiWAAS، ژنوتیپ‌های ۳، ۴، ۱۳، ۱۶ و ۱ برترین ژنوتیپ‌ها بودند. بر پایه بای‌پلات AMMI1، ژنوتیپ‌های ۱، ۳، ۱۷ و ۱۳ با میانگین عملکرد دانه بیشتر از میانگین کل و کمترین مقادیر IPCA1، به‌عنوان ژنوتیپ‌های پایدار با سازگاری عمومی بالا بودند. بر پایه بای‌پلات AMMI2، ژنوتیپ‌های ۴، ۳، ۱۳، ۱ و ۱۰ علاوه بر پایداری عمومی بالا، دارای میانگینی بالاتر از میانگین کل بودند. این نمودار همچنین نشان داد که محیط‌های ۳، ۴ و ۱۰ با بردارهای بلند، از توانایی جداکنندگی بالایی برخوردار بودند و می‌توانند کارآیی نسبی ژنوتیپ‌ها را به درستی براورد کنند. در مجموع و بر پایه شاخص‌های مختلف، ژنوتیپ‌های ۳، ۱ و ۱۳ در بسیاری از محیط‌ها (ترکیبی از سال و مکان) و در بیشتر روش‌ها، دارای عملکرد و پایداری مطلوبی بودند و می‌توانند نامزد معرفی ارقام جدید باشند.

منابع

1. Azam, M.G., Iqbal, M.S., Hossain M.A., and Hossain, M.F. 2020. Stability investigation and genotype×environment association in chickpea genotypes utilizing AMMI And GGE biplot model. Genetics and Molecular Research 19(3): 1-15.
2. Bagheri, A., Nezami, A., Ganjeali, A., and Parsa, M. 1997. Cultivation and Improvement of Chickpeas. Mashhad University Jihad Publications, Mashhad, 444 p. (In Persian).
3. Danyali, S.F., Razavi, F., Ebadi Segherloo, A., Dehghani, H., and Sabaghpour, S.H. 2012. Yield stability in chickpea (*Cicer arietinum* L.) and study relationship among the univariate and multivariate stability parameters. Research in Plant Biology 2(3): 46-61.
4. Erdemci, I. 2018. Investigation of genotype×environment interaction in chickpea genotypes using AMMI and GGE biplot analysis. Turkish Journal of Field Crops 23(1): 20-26.
5. FAO, 2019. FAOSTAT. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL
6. Farshadfar, E. 2008. Incorporation of AMMI stability value and grain yield in a single non-parametric index (GSI) in bread wheat. Pakistan Journal of Biological Science 11: 1791-1796.
7. Farshadfar, E., Rashidi, M., Jowkar, M.M., and Zali, H. 2013. GGE Biplot analysis of genotype×environment interaction in chickpea genotypes. European Journal of Experimental Biology 3(1): 417-423.
8. Farshadfar, E., Zali, H., and Mohammadi, R. 2011. Evaluation of phenotypic stability in chickpea genotypes using GGE-Ballot. Annals of Biological Research 2(6): 282-292.
9. Gauch, H.G. 1988. Model selection and validation for yield trial s with interaction. Biometrics 44: 705-715.
10. Gauch, H.G.J., and Zobel, R.W. 1996. AMMI Analysis of Yield Trials. In: M.S. Kang and H.G. Gauch (Eds.). Genotype by Environment Interaction. pp: 85-122, CRC Press, Boca Raton, New York, USA.
11. Hajivand, A., Asghari, A., Karimizadeh, R., Mohammaddoust-Chamanabad, H.R., and Zeinalzadeh-Tabrizi, H. 2020. Stability analysis of seed yield of advanced chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes under tropical and subtropical rainfed regions of Iran. Applied Ecology and Environmental Research 18(2): 2621-2636.
12. Hasan, M.T., and Deb, A.C. 2017. Stability analysis of yield and yield components in chickpea (*Cicer arietinum* l.). Horticultural International Journal 1(1): 4-14.
13. Kanouni, H., Farayedi, Y., Sabaghpour, S.H., and Saeid, A. 2016. Assessment of genotype×environment interaction effect on seed yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) lines under rainfed winter planting conditions. Iranian Journal of Crop Sciences 18(1): 63 -75. (In Persian with English Summary).
14. Kanouni, H., Farayedi, Y., Saeid, A., and Sabaghpour, S.H. 2015. Stability analyses for seed yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes in the western cold zone of Iran. Journal of Agricultural Science 7(5): 219-230.

15. Karimizadeh, R., Mohammadi, M., Sabaghnia, N., Shefazadeh, M.K., and Pour-alhosseini, J. 2012. Univariate stability analysis methods for determining genotype×environment interaction of durum wheat grain yield. African Journal of Bioology 11(10): 2563-2573.
16. Karimizadeh, R., Pezeshkpour, P., Barzali, M., Mehraban, A., and Sharifi, P. 2020. Evaluation the mean performance and stability of lentil genotypes by combining features of AMMI and BLUP techniques. Journal of Crop Breeding 12(36): 160-170. (In Persian with English Summary).
17. Kizilgeci, F. 2018. Assessing the yield stability of nineteen chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes grown under multiple environments in south-eastern Anatolia, Turkey. Applied Ecology and Environmental Research 16(6): 7989-7997.
18. Olivoto, T., and Lúcio, A.D.C. 2020. Metan: An R package for multi-environment trial analysis. Methods in Ecology and Evolution 1: 1-7.
19. Olivoto, T., Lucio, A.D.C., da Silva, J.A.G., Marchioro, V.S., de Souza, V.Q., and Jost, E. 2019. Mean performance and stability in multi-environment trials I: Combining features of AMMI and BLUP techniques. Agronomy Journal 111: 2949-2960. doi:10.2134/agronj2019.03.0220.
20. Pouresmael, M., Kanouni, H., Hajihasani, M., Astraki, H., Mirakhorli, A., Nasrollahi, M., and Mozaffari, J. 2018. Stability of chickpea (*Cicer arietinum* L.) landraces in national plant gene bank of Iran for drylands. Journal of Agricultural Science and Technology 20: 387-400.
21. Purchase, J.L., Hatting, H., and Van Deventer, C.S. 2000. Genotype×environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. South African Journal of Plant and Soil 17(3): 101-107.
22. Sharifi, P., Aminpanah, H., Erfani, R., Mohaddesi, A., and Abbasian, A. 2017. Evaluation of genotype×environment interaction in rice based on AMMI model in Iran. Rice Science 24(3): 173-180.
23. Sharifi, P., Erfani, A., Abbasian, A., and Mohaddesi, A. 2021. Stability of some of rice genotypes based on WAASB and MTSI indices. Iranian Journal of Genetics and Plant Breeding 10.30479/IJGPB.2021.14432.1283.
24. Sneller, C.H., Kilgore-norquest, L., and Dombek, D. 1997. Repeatability of yield stability statistics in soybean. Crop Science 7: 383-390.
25. Yan, W., Hunt, L.A., Sheny, Q., and Szlavnics, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. Crop Science 40(3): 597- 605.
26. Zali, H., Farshadfar, E., Sabaghpour, S.H., and Karimizadeh, R. 2012. Evaluation of genotype×environment interaction in chickpea using measures of stability from AMMI model. Annals of Biological Research 3: 3126-3136.
27. Zali, H., Sabaghpour, S., Farshadfar, E., Pezeshkpour, P., Safikhani, M., Sarparast, R., and Hashembeigi, A. 2008. Stability analysis of yield in chickpea genotypes by additive main effects and multiplicative interaction (AMMI). Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 11(42): 173-180. (In Persian with English Summary).
28. Zali, H., Sabaghpour, S.H., Farshadfar, E., Pezeshkpour, P., Safikhani, M., Sarparast, R., and Hashembeygi, A. 2009. Stability analysis of chickpea genotypes using ASV parameter and it’s comparison with other methods. Iranian Journal of Field Crop Science 40(2): 21-29. (In Persian with English Summary).
29. Zobel, R.W., Wright, A.J., and Gauch, H.G. 1988. Statistical analysis of a yield trial. Agronomy Journal 80: 388-393.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 12, No. 2, December 2021, p. 214-228 (Original Research Article)

Stability of some of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes by AMMI indices and biplots

Karimizadeh[1], Rahmatollah; Pezeshkpour[2], Payam; Barzali[3], Mohammad; Armion[4], Mohammad; and Sharifi[5*], Peyman

1. Research Assistant Professor, Faculty Member of Dryland Agricultural Research Institute, Kohgiloyeh and Boyerahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gachsaran, Iran; r.karimizadeh@areeo.ac.ir
2. Research Assistant Professor, Faculty Member of Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Khorram Abad, Iran; papezeshkpour@yahoo.com
3. Research Assistant Professor, Faculty Memberof Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gonbad, Iran; barzali@hotmail.com
4. Research Assistant Professor, Faculty Member of Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran; amir.mirzaei53@gmail.com
5. Associate Professor, Faculty Member of Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Rasht Branch, Rasht, Iran

Received: 10 April 2021; **Revised:** 29 July 2021
Accepted: 12 September 2021; **Available Online:** 22 December 2021

DOI: 10.22067/ijpr.v12i2.2103-1006

How to cite this article:
Karimizadeh, R., Pezeshkpour, P., Barzali, M., Armion, M., and Sharifi, P. 2021. Stability of some of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes by AMMI indices and biplots. Iranian Journal of Pulses Research 12(2): 214-228.

Introduction

Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is one of the most important legumes in the world after pea and bean and is rich in protein (21.7-23.4%), minerals (iron, phosphorus, calcium, zinc, potassium and magnesium), carbohydrates (41.1-47.4%) and vitamins (B1, B2, B3, B5, B6, B9, C, E, K). The interaction of genotype by environment, as a response of genotypes to the environmental variation is a source of complexity for breeding programs and preparation of high yielding and stable genotypes. One of the most important ways to discover the nature of genotype by environment interaction is stability analysis, which identified the stable or compatible genotypes. Different methods for investigation of genotype by environment interaction and determination of stable genotypes have been reported, which generally include uni-variate and multivariate methods. One of the multivariate methods is AMMI analysis. The purpose of present study is the evaluation of the stability of chickpea genotypes using AMMI indices and biplots.

Materials and Methods

Eighteen selective advanced genotypes of chickpea from ICARDA with two check verities (Arman and Azad) evaluated across four locations (Gachsaran, Ilam, Gonbad and Khoramabad) at three growing seasons, in a completely randomized block design with three replications. The data of 3rd year in Gonbad were lost and therefore, the analysis of data performed on 11 environments. Average seed yield of genotypes estimated

*** Corresponding Author:** sharifi@iaurasht.ac.ir

at each environment (combination of location and growing season) and used for analysis. Statistical analyses including simple analysis of variance, combined analysis of variance and stability analysis carried out by metan (Multi environment trial analysis) R package. Five AMMI stability indices including ASV (AMMI stability value), SIPC (Sum of IPCs scores), EV (Eigenvalue stability parameter of AMMI), Za (Absolute value of the relative contribution of IPCs to the interaction), WASS (Weighted average of absolute scores) and simultaneous selection index (ssi) of these parameters was used for stability evaluation of genotypes.

Results and Discussion

Combined analysis of variance indicated environment, genotype and genotype by environment interaction accounted 79.2, 2.4 and 10.0% of the phenotypic variation of seed yield, respectively. The significant effect of genotype indicated the wide genetic background of genotypes, while the significant effect of genotype by environment interaction is indicated the diversity of genotypes in test locations and growing years and exhibited the necessary of evaluation of genotypes in multiple environments. According to the significant effect of genotype by environment interaction, AMMI analysis was carried out by principal components analysis and the results indicated the significant effects of five principal components on seed yield. The first two principal components contributed to 42.5 and 19.4% of genotype by environment interaction. Genotype G3 (1663 kg ha^{-1}) followed by G1, G17, G20 and G5 had the highest seed yield. According to the ASV and WAAS indices, G3, G4 and G13; EV and ZA indices, G3, G14, G16 and G6; and SIPC, G14, G3, G11, G4 and G16 were the most stable genotypes. Selection of these genotypes was done only on stability aspect of genotypes, therefore simultaneous selection index (ssi) based on any of these parameters was used to evaluate the simultaneously selection of genotypes based on seed yield stability and performance. Genotypes G3, G1, G4, G13 and G16 selected as superior genotypes by ssiASV, ssiZA and ssiWAAS indices; while based on ssiSIPC and ssiEV, G3, G16 and G20 were as the best genotypes. The other applications of AMMI stability analysis are selection of best genotypes in any of environments. According to this procedure, genotype G3 was placed in the first order in E1, E5 and E7; in the second order in E2, E3 and E9; in the third order in the E6 and E7; and in the fourth order in the E5. The AMMI1 biplot (IPCA1 *vs* grain yield) identified G1, G3, G17 and G13 as high yielding and stable genotypes with seed yield higher than total mean and lowest IPCA1 values. This biplot was also indicated environments E1, E9, E5, E2 and E3 had the lowest contribution in genotype by environment interaction interaction. The first principal components explained only 42.5% of genotype by environment interaction, and therefore, it seems that using the AMMI2 biplot is more efficient to identify the superior genotypes. In AMMI2 biplot (IPCA1 *vs* IPCA2), genotypes G4, G3, G13, G1 and G10 had high general stability. The environments E3, E4 and E10 with long vectors, had high discriminating ability and can estimate the relative efficiency of genotypes well.

Conclusion

In general, based on different indices, G3, G1 and G13 had high yield in most of environments, and in most methods had good stability and could be candidates for introduction of new cultivars.

Keywords: Adaptability، Biplot، Genotype by environment interaction، Principal components، Yield